

VŠB – Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Katedra obrábění, montáže a strojírenské metrologie

# **Racionalizace výroby zábradlí pomocí trubkového laseru**

Rationalization of Handrail Production  
by Tube Laser

Student:	Milan Bohuš
Osobní číslo:	BOH0087
Vedoucí bakalářské práce:	prof. Ing. Robert Čep, Ph.D.
Ostrava 2020	

## Zadání bakalářské práce

Student:

**Milan Bohuš**

Studijní program:

B2341 Strojírenství

Studijní obor:

2303R002 Strojírenská technologie

Téma:

Racionalizace výroby zábradlí pomocí trubkového laseru  
Rationalization of Handrail Production by Tube Laser

Jazyk vypracování:

čeština

Zásady pro vypracování:

1. Úvod do problematiky.
2. Popis trubkového laseru.
3. Popis stávající technologie
4. Návrh nové technologie.
5. Porovnání stávající a nové technologie a jejich zhodnocení.

Seznam doporučené odborné literatury:

ČEP, Robert; PETRŮ, Jana; ŠAJGALÍK, Michal; CZÁNOVÁ, Tatiana. *Moderné aplikácie technológií obrábania*. Žilina : KOVT Innovations, 2015, 422 s. ISBN 978-80-972236-1-8.

ČEP, Robert; BRYCHTA, Josef; CZÁNOVÁ, Tatiana. *Inovácie výrobných strojov*. Žilina : KOVT Innovations, 2016, 200 s. ISBN 978-80-972236-0-1.

NESLUŠAN, M.; TUREK, S.; BRYCHTA, J.; ČEP, R.; TABAČEK, M. *Experimentálne metódy v trieskovom obrábaní*. 1. vyd. Žilina : Žilinská univerzita v Žiline, EDIS, 2007. 343 s. ISBN 978-80-8070-711-8.

BRYCHTA, Josef; ČEP, Robert; PETRŮ, Jana. *Výrobní stroje obráběcí*. Ostrava : Ediční středisko VŠB – TU Ostrava, 2012, 145 s

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **prof. Ing. Robert Čep, Ph.D.**

Datum zadání: 20.12.2019

Datum odevzdání: 18.05.2020

doc. Ing. et Ing. Mgr. Jana Petrů, Ph.D.  
vedoucí katedry

prof. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.  
děkan fakulty



Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne 18. května 2020.



.....  
Podpis studenta

### Prohlášení spolupracující osoby

Souhlasím se zveřejněním této bakalářské práce dle požadavků čl. 26, odst. 9 Studijního a zkušebního řádu pro studium v bakalářských studijních programech VŠB-TU Ostrava.

SSI SCHÄFER | SSI Schäfer s.r.o.

Tovární 325

753 01 Hranice, Česká republika

Jméno a příjmení oprávněné osoby:

V Hranicích dne 18. května 2020

**SSI SCHÄFER s.r.o.**  
P.O. BOX 23  
Tovární 325  
753 01 HRANICE  
IČO: 61060755 DIČ: CZ61060755


.....  
Podpis oprávněné osoby

Mgr. Jana Kutínová  
Personální ředitelka

Prohlašuji, že:

- jsem si vědom, že na tuto moji závěrečnou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. Zákon o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (dále jen Autorský zákon), zejména § 35 (Užití díla v rámci občanských či náboženských obřadů nebo v rámci úředních akcí pořádaných orgány veřejné správy, v rámci školních představení a užití díla školního) a § 60 (Školní dílo),
- беру на ве́домі́, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo užít tuto závěrečnou bakalářskou práci nekomerčně ke své vnitřní potřebě (§ 35 odst. 3 Autorského zákona),
- bude-li požadováno, jeden výtisk této bakalářské práce bude uložen u vedoucího práce,
- s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 Autorského zákona,
- užít toto své dílo, nebo poskytnout licenci k jejímu využití, mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše),
- беру на ве́домі́, že podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů – že tato bakalářská práce bude před obhajobou zveřejněna na pracovišti vedoucího práce a v elektronické podobě uložena a po obhajobě zveřejněna v Ústřední knihovně VŠB-TUO, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne 18. května 2020.

  
.....  
Podpis studenta

## ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

BOHUŠ, M. *Racionalizace výroby zábradlí pomocí trubkového laseru: bakalářská práce.* Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra Obrábění, montáže a strojírenské metrologie, 2020, 46 s. Vedoucí práce: prof. Ing. Robert Čep, Ph.D.

Bakalářská práce se zabývá racionalizací výroby zábradlí na trubkovém laseru. Bakalářskou práci jsem zhotovil ve firmě SSI Schäfer, kde jsem využil trubkový laser, který nese označení TruLaser Tube 7000 od firmy Trumpf. V úvodu je popsána problematika výroby zábradlí. A co vše bychom mohli vylepšit, pokud bychom trubky dělili na trubkovém laseru. Dále je popsán laser obecně, jak funguje, jaké známe druhy laseru, a poté se práce detailně zabývá popisem trubkového laseru. Nejdůležitější část práce je návrh technologie výroby trubkového zábradlí na stroji TruLaser Tube 7000. V poslední části se práce zabývá porovnáním obou metod a stanovením výsledků, která metoda je výhodnější.

## ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

BOHUŠ, M. *Rationalization of Handrail Production by Tube Laser: Bachelor Thesis.* Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Machining and Assembly, 2020, 46 p. Thesis head: prof. Ing. Robert Čep, Ph.D.

The bachelor's thesis deals with the rationalization of the production of railings on a Tube Laser. I did my bachelor's thesis in the company SSI Schäfer, where I used a Tube Laser, which is called TruLaser Tube 7000 from the company Trumpf. The introduction describes the issue of Handrail production. And what could we improve if we divided the tubes on a Tube Laser. Next, the Laser is described in general, how it works, what types of Laser we know, and then the work deals in detail with the description of the Tube Laser. The most important part of the work is the design of the technology of Handrail production on the machine TruLaser Tube 7000. In the last part, the work deals with the comparison of both methods and determining the results, which method is more advantageous.

## Obsah

Seznam použitých symbolů a zkratk	9
Seznam použitých obrázků	10
Seznam použitých tabulek	11
Úvod	12
1. Úvod do problematiky výroby	14
2. SSI SCHÄFER	15
2.1. Historie	15
2.2. Základní informace	15
3. Laser	16
3.1. Rozdělení laserů	16
3.2. Plynový laser	17
3.3. CO <sub>2</sub> lasery	17
3.3.1. Průtočné lasery	17
4. Obrábění paprskem laseru - LBM	19
4.1. Sublimační	20
4.2. Tavná	20
4.3. Oxidační	21
5. Výběr řezných plynů	22
6. Použití technologie LBM	24
7. Trubkový laser	25
7.1. TruLaser Tube 7000	25
7.1.1. Řezná hlava laseru	27
7.1.2. LoadMaster Tube	30
7.1.3. Posuvná stanice, průchozí sklíčidlo a upnutí profilu	31
7.1.4. Flexibilní odebírací stanice	33
8. Výroba trubkového zábradlí	34
8.1. Výroba zábradlí, pomocí dělení trubek řezáním	34
8.2. Výroba zábradlí pomocí trubkového laseru	35
8.2.1. Detailní pohled výroby, při použití TruTube laseru 7000	35
8.2.2. TubeDesign	35

8.2.3.	TruTops Tube	36
8.2.4.	TubeNest	37
8.2.5.	Výroba	37
8.2.6.	Svařování	37
9.	Porovnání obou technologií	39
9.1.	Cenové a časové zhodnocení výroby	40
9.2.	Zhodnocení obou metod	41
	Závěr	42
	Poděkování	43
	Bibliografie	44
	Seznam příloh	46



## Seznam použitých symbolů a zkratek

€	Euro
Al	Hliník
Ar	Argon
CNC	Číslicové řízení počítačem
CO <sub>2</sub>	Oxid uhličitý
He	Helium
LBM	Obrábění paprskem laseru
N <sub>2</sub>	Dusík
NC	Číslicové ovládání strojů
O <sub>2</sub>	Kyslík

## Seznam použitých obrázků

Obr. 1: Konstrukce CO <sub>2</sub> laseru.....	18
Obr. 2: Obrábění paprskem laseru.....	19
Obr. 3: Umístění ohniska při tavném řezání .....	20
Obr. 4: Umístění ohniska při oxidačním řezání .....	21
Obr. 5: Uskladnění plynů v areálu firmy SSI Schäfer .....	23
Obr. 6: Konstrukce trubkového laseru .....	25
Obr. 7: Výrobky zhotovené na stroji TruLaser Tube 7000 .....	26
Obr. 8: Řezná hlava trubkového laseru .....	27
Obr. 9: Ukázka natočení hlavy 45° .....	28
Obr. 10: Řez do velikosti 45°; Řez, který je větší než 45° .....	28
Obr. 11: Pohled na řezací nástavec z vrchu, předtím, než je do ní vložena čočka.....	29
Obr. 12: Detailní pohled na celý řezací nástavec .....	29
Obr. 13: Trysky pro TruLaser Tube 7000 .....	30
Obr. 14: Uložení ve spodní poloze LoadMaster Tube a přenos trubky pomocí drapáků ..	31
Obr. 15: Detailní pohled na posuvnou stanici a samostředící upínací čelisti.....	32
Obr. 16: Detailní pohled na posuvné protahovací pouzdro.....	32
Obr. 17: Posuvné pásové stoly s hromadícími se výrobky .....	33
Obr. 18: Model vyráběného zábradlí.....	34
Obr. 19: Model vyráběného zábradlí.....	35
Obr. 20: Pracovní prostředí v programu TruTops od firmy Trumpf.....	36
Obr. 21: Detailní pohled na trubku zábradlí pozice 2009 .....	38
Obr. 22: Zábradlí umístěné v přípravku a nabodované.....	38

## Seznam použitých tabulek

Tabulka 1: Parametry dosahované technologií LBM ve strojírenství.....	24
Tabulka 2: Parametry výrobku.....	24
Tabulka 3: Výhody a nevýhody technologie LBM.....	24
Tabulka 4: Porovnání metod výroby.....	40
Tabulka 5: Cenové a časové zhodnocení výroby .....	40

# Úvod

V dnešní moderní a rychlé době se na zkracování časů a technologických úkonů při prvovýrobě klade stále větší důraz. Vše je zapříčiněno ekonomickou situací a firmy jsou nuceny své výrobní technologie neustále zdokonalovat. Do popředí se dostávají, v minulosti nekonvenční metody obrábění, jako je například dělení materiálu laserem a pomalu, ale jistě se stávají metodami konvenčními. Brzy už výroba pomocí laseru nebude nijak výjimečná. Její výhodou je bezesporu dobrá kvalita řezu i při vysokých řezných rychlostech a relativně snadná automatizace. Kvalitních pracovníků v oboru strojní technologie na pracovním trhu razantně ubývá, a proto je automatizace jedním z řešení, jak tuto situaci vyřešit. Pokud pracujeme s laserovým zařízením neproduktivní časy při výrobě se snižují na minimum a k výrobě ani nepotřebujeme drahé obráběcí nástroje, které se samozřejmě musí neustále obměňovat, neboť jsou s materiálem v kontaktu a jejich obráběcí vlastnosti s časem klesají. Laser pracuje zcela bezkontaktním způsobem, a tudíž by měla být kvalita řezu stejná na začátku i na konci výrobního procesu. Proto se laserové technologie využívají především ve velkovýrobě. Ovšem všechny technologie mají i své zápory. Pořizovací cena laseru je nadále poměrně vysoká, a ne všechny firmy si mohou dovolit s takovou technologií pracovat.

Firma SSI Schäfer, ve které jsem tuto bakalářskou práci tvořil, patří mezi přední světové dodavatele skladovacích logistických systémů. Její úspěch je postaven především na tom, že všechny komponenty, které ve svých výrobcích používá si vyrábí sama. Jelikož je to velká a stabilní firma, může si dovolit výrobu za pomocí nejmodernějších technologií, které nejsou vůbec levné, ale právě díky těmto technologiím si stále drží vysokou laťku kvality a dokáže držet krok se světovým trhem.

V dalších kapitolách této práce je popsána racionalizace výroby zábradlí pomocí trubkového laseru. Ze všeho nejdříve se zaměřím na práci laseru zcela obecně. Druhy laserů, které na trhu existují a jakým způsobem pracují. Firma SSI Schäfer v Hranicích vlastní trubkový laser od firmy Trumpf. Jedná se o průtočný CO<sub>2</sub> laser, jehož aktivním prostředím je plyn a nese označení TruLaser Tube 7000. Díky němu jsme schopni dělit trubky daleko efektivněji než při konvenčních metodách dělení, například pomocí pásové pily. Právě dělení trubek a následné technologické postupy, které se budou v mnoha směrech lišit jsou základem této bakalářské práce. Samozřejmě, že výhoda trubkového laseru není jen v rychlosti. Pomocí laseru jsme schopni vytvářet různé technologické otvory, zámky a mnoho jiných technologických pomůcek, které nám výrobní čas mohou zkrátit v dalších technologických krocích. A to vše při jedné operaci. Díky tomu je práce rychlejší a efektivnější. Můžeme vyloučit riziko chyby, například při svařování. Kde určíme naprosto přesně už při výrobě na laseru, místo, kde se má daná trubka ke druhé přivařit. Svářeč tedy nemusí zdlouhavě měřit a sám si označovat určitá místa svaru. Dále můžeme každou trubku označit gravírem a díky tomu snížíme riziko ztráty daného kusu při převozu nebo záměny za jiný na minimum.

Na závěr obě zvolené metody výroby trubkového zábradlí mezi sebou porovnáme a určíme, která metoda výroby je lepší. Hodnotit budu dva hlavní faktory. Čas potřebný ke zhotovení zábradlí, od začátku procesu, až po poslední technologickou operaci, kterou je lakování. A za

druhé budu hodnotit finanční náročnost obou výrobních metod. Náklady potřebné pro zhotovení zábradlí rozeberu krok po kroku. Každý krok bude oceněn podle ceníku výroby firmy SSI Schäfer a následně zjistím, která metoda je pro výrobu finančně výhodnější.

## 1. Úvod do problematiky výroby

Výroba trubkového zábradlí se řídí podle výkresu příloha A. Jedná se o jednoduché zábradlí, které je vyráběno ve firmě SSI Schäfer. Jelikož tato firma disponuje velkou řadou nejmodernějších výrobních strojů nevyrábí již své produkty starými technologiemi, ale snaží se ve všech směrech tyto výrobní postupy inovovat [1].

Trubkové zábradlí se vyrábělo za pomoci konvenčních metod a to tak, že se nejprve jednotlivé trubky nadělily pomocí pásové pily, poté se odeslaly na lis, kde se zploštily konce trubek kvůli svařování. A nakonec se jednotlivé díly svařily podle výkresu dohromady. Tato metoda byla sice účinná, ale nedosahovala zdaleka takových kvalit, jakých můžeme dosáhnout, když pro dělení trubek použijeme trubkový laser. Díky laseru se zkrátí výrobní čas a ulehčí se práce svařovně. Dále budou trubky opatřeny technologickými otvory, kterými se zamezí možnosti špatného svaření a díky gravírování, které lze na trubky přidat, se docílí lepší přehlednosti při vyskladňování dílů a zamezí se ztrátě při přepravě.

## **2. SSI SCHÄFER**

Rodinná firma SSI SCHÄFER patří mezi přední světové dodavatele intralogistiky. Jejich sortiment produktů zahrnuje vysoce dynamické skladovací a logistické systémy, nejmodernější vybavení dílen, provozoven, kanceláří a inovativní produkty pro odpadní techniku a recyklaci [1].

### **2.1. Historie**

1937 - Založení společnosti Fritzem Schäferem v Německu

- Výroba plechových a kovových výrobků

1953 - Sériová výroba pevných skladovacích přepravek

1960 - Mezinárodní expanze, zakládání zahraničních poboček

1969 - Založení firmy Schäfer Werke GmbH ve městě Neunkirchen

1971 - Založení Schäfer Shop (zásilková služba, pohodlný nákup z katalogu)

1976 - Výroba prvního plastového odpadního kontejneru

1996 - Založení pobočky v Hranicích

2000 - Integrace SSI Schäfer Noell

2001 - Integrace SSI Schäfer Peem

2008 - Integrace SSI Schäfer Salomon

### **2.2. Základní informace**

Firma SSI Schäfer si získala důvěru u zákazníků díky svým výrobkům, které se vyznačují vysokou kvalitou zpracování a dlouhou životností. To je zapříčiněno tím, že firma si všechny jednotlivé komponenty vyrábí sama ve skupině SSI SCHÄFER, a to od regálů až po automatické zařízení a má tedy přehled o jednotlivých krocích výroby, které podléhají důsledné kontrole. Výroba je uskutečněna v osmi výrobních závodech po celém světě za použití nejmodernějších technologií. A právě díky těmto moderním technologiím jsou nároky na kvalitu a rychlost výroby ještě umocněny. Ne jinak tomu je i ve výrobním závodě, který sídlí v České republice, a to v Hranicích [1].

Výrobní závod v Hranicích byl založen v roce 1996 a patří s mateřskou firmou v Německu mezi největší v koncernu. Většinu produkce, až 65 % z celkového objemu produkce, hranického závodu tvoří výroba automatizovaných logistických systémů, kam patří automatické zakladače na palety a přepravky, řetězové a válečkové dopravníky a přesuvné podvozky. Další část výroby tvoří statické systémy, a to regály a ocelové konstrukce. Závodu náleží 12 výrobních hal na pozemku o rozloze 150 000 m<sup>2</sup>. Se svými přibližně 1 200 zaměstnanci se společnost SSI Schäfer řadí mezi významné zaměstnavatele v Hranicích [1].

### 3. Laser

Slovo laser pochází z anglického Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation. Což v doslovném překladu znamená zesilovač světla pomocí vynucené emise záření. Zjednodušeně tedy lze říct, že se jedná o „světlo“ tvořeno svazkem paprsků [2].

V posledních letech je možno se s laserovými technologiemi setkat stále častěji. Ať už v zábavním průmyslu, pak také ve zbrojním průmyslu, zde se jedná o zaměřovače, a v neposlední řadě nelze opomenout ani na medicínu, kde se laser využívá ve velmi široké míře, ať už se jedná o korekci očních vad, až po různé kosmetické úpravy. Dále použití této technologie lze nalézt v metrologii, ve výpočetní technice a v mnoha dalších vědních disciplínách. Ve strojírenském průmyslu se laser využívá při svařování, gravírování, značení, pro tepelné zpracování, povrchové úpravy a samozřejmě při obrábění [4].

Pomocí laseru jde řezat kovové i nekovové materiály velice přesně, rychle a zcela bezkontaktním způsobem. U jiných postupů působí na obrobek velmi vysoké síly, což zapříčiňuje opotřebení nástroje, deformaci nebo dokonce poškození obrobku. Jelikož laser pracuje bezkontaktně a nemá žádné omezení, co se týče pohybu v souřadném systému, můžeme díky němu řezat tvary a otvory nejrůznějších podob [5].

#### 3.1. Rozdělení laserů

V dnešní době existuje několik typů laserů. Základní princip je sice stejný, přesto se na trhu vyskytuje velké spektrum laserů, které můžeme rozdělit podle:

1) aktivního prostředí:

- plynové,
- pevnolátkové,
- polovodičové,
- kapalinové [6].

2) režimu vyzařování:

- kontinuální,
- pulzní [6].

3) metody řezání:

- sublimační,
- tavné,
- oxidační [6].



### 3.2. Plynový laser

Nejrozšířenějším laserem pro obrábění, jsou plynové lasery, mezi které patří CO<sub>2</sub> lasery, Excimerové lasery, nebo Helium-neon lasery. Aktivním médiem u těchto laserů je plyn. Ale jelikož fyzikální vlastností plynu je nízká hustota, je zapotřebí velké množství plynu pro dosažení potřebné inverze, a tudíž vzniku paprsku. Proto plynové lasery patří, co se týče využití prostoru, mezi ty větší [7] [8].

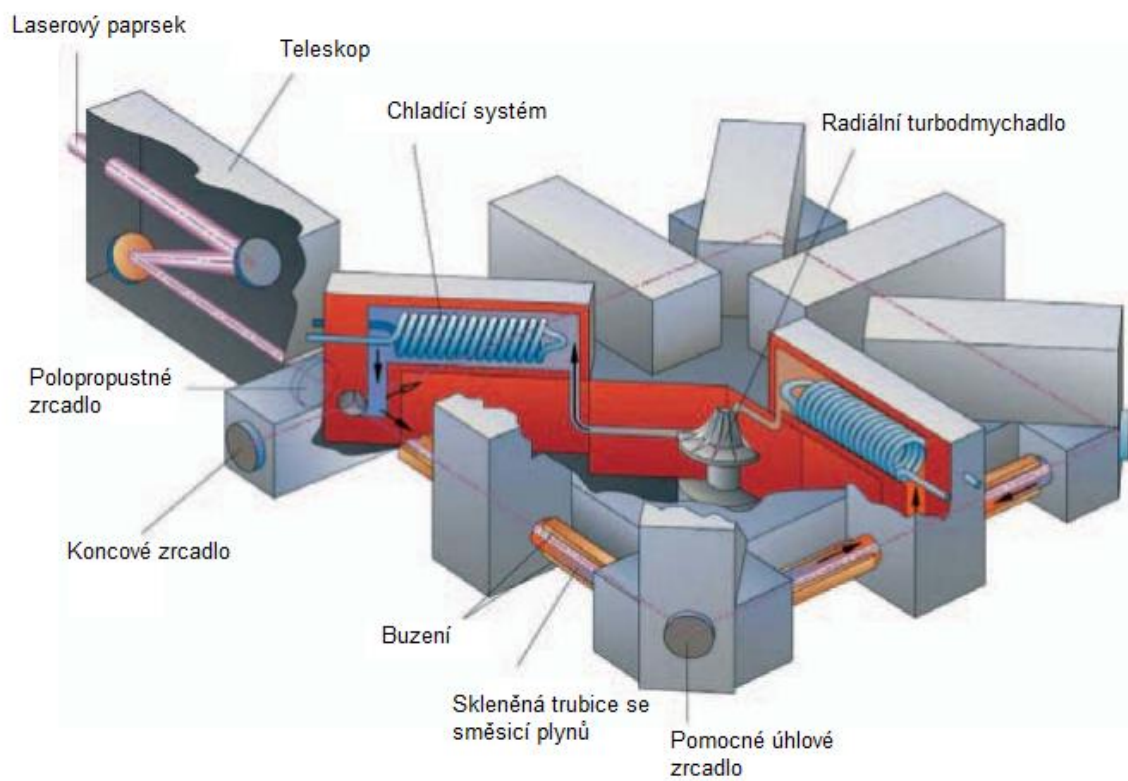
### 3.3. CO<sub>2</sub> lasery

Ve strojírenském průmyslu jsou nejvíce rozšířené CO<sub>2</sub> lasery, zejména díky své vlnové délce 10,6  $\mu\text{m}$  a dále to jsou jedny z nejvýkonnějších laserů vůbec. Jejich výkon může dosáhnout až 20 kW, díky těmto aspektům jsou ideální pro svařování, nebo řezání ocelí, až do tloušťky 30 mm [9].

U těchto laserů tvoří aktivní prostředí plyn, jak už z názvu vyplývá, jedná se o plyn CO<sub>2</sub>. Nejedná se o zcela čistý plyn CO<sub>2</sub>, nýbrž o směsici plynů, která je tvořena He + N<sub>2</sub> + CO<sub>2</sub> uzavřené ve skleněné trubici o průměru 10 – 20 mm. Délka této trubice je v rozsahu 0,5 – 1 m. Z důvodu ušetření místa může být tato trubice rozdělena na více částí, které jsou spolu propojeny optickým systémem. K buzení aktivního prostředí dochází radio-frekvenčně, nebo za pomoci elektrického výboje. Vzniklé záření, pro použití k pálení materiálu se pohybuje v infračerveném světelném spektru a dosahuje vlnové délky 10,6  $\mu\text{m}$ . Z hlediska konstrukce známe 2 základní typy CO<sub>2</sub> laserů. Pokud je směsice plynů v rezonátoru uzavřená, hovoříme o takzvaných hermeticky uzavřených laserech, naopak, pokud směsice plynů neustále proudí, hovoříme o laserech průtočných. Hermeticky uzavřené lasery zcela nedosahují výkonu průtočných laserů, a proto se při řezání ocelí využívají především průtočné lasery. Jejich výkon je mnohonásobně vyšší, ale také spotřebují velké množství plynu [10] [11].

#### 3.3.1. Průtočné lasery

Průtočné lasery se vyznačují neustálým průtokem plynů přes rezonanční optický obvod, ve kterém dojde k buzení pomocí elektrického výboje, který elektrony přesune do excitovaného stavu. Proudění plynu je zajištěno pomocí integrovaného radiálního turbodmychadla s magnetickými ložisky, které dále zajišťuje čistotu plynu a snižuje hlučnost. Při proudění plynu vzniká teplo, které se musí eliminovat. Proto plyn proudí ve vinutém potrubí, které je obklopeno materiály, které dobře odvádí teplo, většinou se jedná o vodu. Celá konstrukce laseru je popsána na obr. 1. Díky složitosti konstrukce nabývá laser větších rozměrů, a jelikož je plyn stále v pohybu, je zde i velká spotřeba plynu. To vše je ale kompenzováno velkým výkonem laseru, díky kterému jsme schopni řezat ocelové materiály s velkou rychlostí a přesností [9] [10].



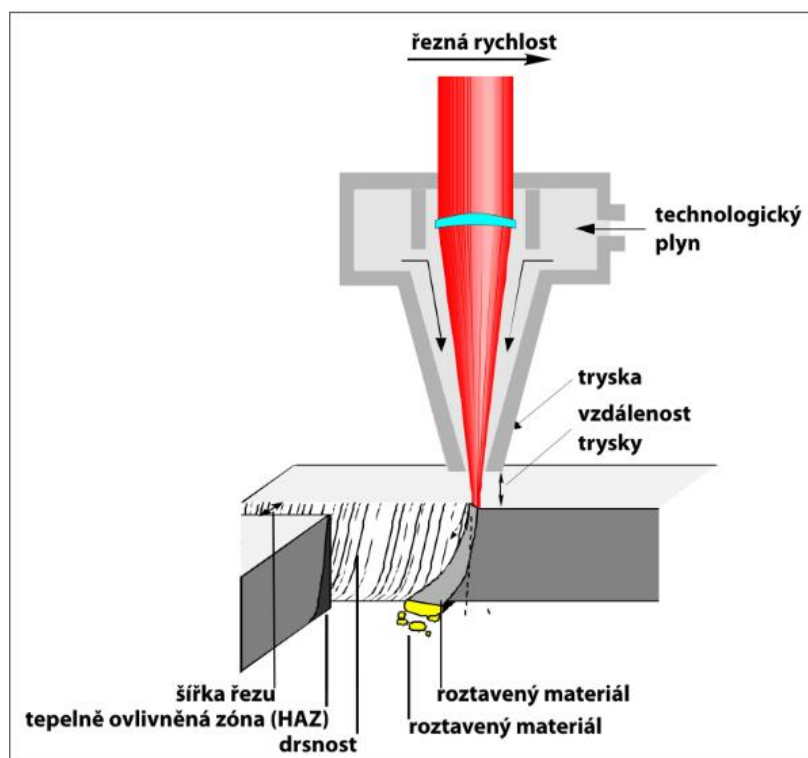
Obr. 1: Konstrukce  $CO_2$  laseru

Zdroj: Internetová stránka [12]

## 4. Obrábění paprskem laseru - LBM

Obrábění paprskem laseru (Laser Beam Machining – LBM) se řadí mezi nekonvenční metody obrábění a je založeno na principu přeměny světelné energie na energii tepelnou. Při LBM dochází k odebrání materiálu pomocí tenkého paprsku silného monochromatického světla, které je soustředěno do velmi malého prostoru. V tomto místě se energie světelná přemění na energii tepelnou o hustotě zhruba  $10^8 \text{ W} \cdot \text{mm}^{-2}$ . Teplota, která se při tomto procesu vyvine, dosahuje hodnoty až  $10\,000\text{ }^\circ\text{C}$ . Pomocí této teploty dojde k odpaření, popřípadě k roztavení obráběného materiálu. Při řezání laserem je potřeba nastavit velké množství parametrů (tlak laseru, vzdálenost čočky od materiálu, rychlost posuvu aj.). To, jakým způsobem se tyto parametry nastaví zásadně ovlivňuje vlastnosti řezání, ale především kvalitu řezu. Projeví se to také při metodě dělení materiálu. Pro určení dané metody jsou nejdůležitější parametry zvolený plyn a výkon laseru [3] [13]. Podle těchto parametrů rozlišujeme 3 mechanismy řezání laserovým paprskem, a to:

1. sublimační,
2. tavné,
3. oxidační [14].



Obr. 2: Obrábění paprskem laseru

Zdroj: Internetová stránka [14]

#### 4.1. Sublimační

U sublimační metody odpařuje laser materiál z místa řezu, v ideálním případě zcela bez tavení. K tomu je zapotřebí velice vysoká intenzita. V místě řezu materiál sublimuje z pevného skupenství na plynné. Pára z materiálu ve šterbině řezu vytváří vysoký tlak, díky kterému je tavenina vymrštnuta směrem nahoru i dolů. Při sublimační metodě se využívá procesních plynů, pro izolaci plochy řezu od okolního prostředí, díky čemuž hrany řezu neoxidují. Jako procesní plyn se nejčastěji volí He, N<sub>2</sub>, nebo Ar. Při obrábění oceli se tato metoda nevyužívá. Sublimační metoda se využívá především tam, kde je kladen důraz na velice přesné a jemné řezání, například ve zdravotnictví, pro výrobu stentů.

Pro řezání sublimační metodou jsou vhodné materiály, které se odpařují při malé teplotě, nebo se nemohou tavit vůbec, například fólie z plastické hmoty, textilie, dřevo, lepenka, pěna [5] [14].

#### 4.2. Tavná

Při tavném řezání využíváme nižší výkon než u sublimační metody řezání, protože paprsek slouží pouze k natavení materiálu a ten je dále ze spáry vyfukován pomocí inertního plynu. Jako řezací plyn se u tavné metody používá dusík (N<sub>2</sub>), nebo argon, který se pod tlakem 2 - 20 barů vhání do místa řezu. Jelikož jsou N<sub>2</sub> a Ar inertní plyny, nereagují s roztaveným kovem, ale pouze jej vyfukují ven směrem dolů a zároveň chrání hranu řezu před oxidací. Výsledkem tavného řezání je kvalitní řez, bez okují a oxidace, nevýhodou je vyšší spotřeba řezného plynu a s rostoucí tloušťkou materiálu klesá rychlost pálení. Optimální tloušťka materiálu pro řezání tavnou metodou se pohybuje od 1 - 3 mm.

Pro řezání tavnou metodou se využívají legované a korozivzdorné oceli, barevné kovy, nebo i konstrukční oceli. Tato metoda se využívá všude, kde je požadovaná nezoxidovaná hrana řezu [5] [7].



Obr. 3: Umístění ohniska při tavném řezání

Zdroj: Internetová stránka [15]

### 4.3. Oxidační

Oxidační řezání se velice podobá tavnému řezání s výjimkou použitého řezného plynu. U oxidačního řezání se jako řezný plyn používá kyslík ( $O_2$ ), který se vhání do místa řezu rychlostí až 6 barů. Vzájemným působením kyslíku s nataveným kovem vzniká exotermická reakce, která vede k dalšímu ohřátí materiálu a díky tomu je možno dosahovat daleko rychlejších řezných časů, oproti tavné metodě je oxidační až dvakrát rychlejší a nejvýkonnější lasery mohou řezat materiál až do tloušťky 30 mm. Rychlost této metody je ale na úkor kvality. Oproti tavné metodě vzniká při oxidační větší a drsnější spára řezu, horší kvalita řezu a větší tepelně ovlivněná oblast. Na povrchu řezné hrany vzniká oxidická vrstva. Výhodou této metody je rychlost a poměrně malá spotřeba řezného plynu.

Pro řezání oxidační metodou se využívají materiály s vysokou tepelnou vodivostí, především se jedná o konstrukční a uhlíkové oceli [5] [7].



Obr. 4: Umístění ohniska při oxidačním řezání

Zdroj: Internetová stránka [15]

## 5. Výběr řezných plynů

Dusík, oxid uhličitý, argon a helium, nebo jejich směsi slouží jako zdrojové plyny pro generování laserového paprsku v rezonátoru CO<sub>2</sub> laseru. Plyny se uskládňují v tlakových nádobách a jsou označeny příslušnou barvou. Abychom dosáhli optimálních řezných parametrů a s tím spojenou co nejlepší kvalitou řezu, je nutné zvolit pro danou operaci správný řezný plyn. Velice důležitá je čistota plynu, třída čistoty se udává v procentech. Pro zjednodušení byl zaveden mezinárodní systém značení. Například optimální hodnota kyslíku při technologii řezání kyslíkem se uvádí 3.5 a nese název Oxycut. Číslo 3.5 udává čistotu kyslíku v procentech, a to tak, že první číslo udává počet 9 a číslo za tečkou vyjadřuje poslední číslo celkové hodnoty. Tedy kyslík s označením 3,5 udává čistotu plynu minimálně 99,95 % [16] [17].

- **Dusík**

Dusík jako řezný plyn se využívá při tavné metodě řezání laserem. Používá se především pro řezání vysokolegovaných ocelí a neželezných kovů. Může se použít i při řezání nelegovaných, nebo nízkolegovaných ocelí kvůli kvalitě řezu. Stejně jako u ostatních řezných plynů i zde je kladen důraz na co nejvyšší čistotu plynu. Pro řezání paprskem laseru se používá dusík s čistotou 5.0, dusík o takové čistotě se nazývá Nitrocut. Například při řezání nerezové oceli stačí pouze 0,005 % kyslíku (O<sub>2</sub>) obsaženého v dusíku a řezná hrana nám začne oxidovat a zabarvovat se [18].

Jelikož při řezání dusíkem nevzniká exotermická reakce, která urychluje řezání materiálu, je řezání tímto plynem pomalejší. Díky dusíku však dosáhneme velmi kvalitní, kovově lesklý řezný povrch bez oxidace. Maximální doporučená tloušťka materiálu pro řezání dusíkem u nelegovaných, nebo nízkolegovaných ocelí, je 3 mm [17].

- **Kyslík**

Kyslík jako řezný plyn se využívá při oxidační metodě řezání. Používá se především pro řezání nelegovaných a nízkolegovaných ocelí. Pro řezání pomocí kyslíku se používá plyn s označením čistoty 3.5 - Oxycut. Čistota použitého plynu se zásadně odráží v rychlosti řezu. Díky čistotě lze zvýšit rychlost řezání až o 20 %, rychlost však závisí na tloušťce materiálu. S vyšší rychlostí snížíme deformace vzniklé termickým ovlivněním materiálu.

Řezání pomocí O<sub>2</sub> je velice výhodné díky jeho rychlosti a kvalitě řezu. Vzniká velice kvalitní řez, ovšem hrana řezu je pokrytá oxidací. Pomocí O<sub>2</sub> můžeme řezat nelegované, nebo nízkolegované oceli, až do tloušťky 30 mm [17] [18].

Plyny uskladené tak, jak lze vidět na obr. 5 jsou řezné plyny. Jelikož u průtočných laserů je vysoká spotřeba plynů, je důležité jich mít vždy dostatek a jednotlivé tlakové bomby se používají především pro samotný vznik laserového paprsku v rezonátoru. Jejich spotřeba není tak vysoká a není tedy třeba mít takové množství.

**Spotřeba řezného plynu závisí na třech základních faktorech, kterými jsou:**

- Průměr trysky;
- Tlak řezného plynu;
- Doba řezání laserem.



Obr. 5: Uskladnění plynů v areálu firmy SSI Schäfer

*Zdroj: Vlastní zpracování*

## 6. Použití technologie LBM

Laserová technologie je v dnešní době stále více upřednostňovaná, a to díky její velké flexibilitě a rychlosti. Pomocí LBM můžeme řezat různé druhy materiálů, ať už se jedná o kov, keramiku, plasty aj. Díky automatizaci, vysoké přesnosti a rychlosti obrábění je použití této metody velmi ekonomicky výhodné a oproti konvenčním metodám výroby jsme schopni vyrobit tvarově náročnější díly. Nejrozšířenější lasery ve strojírenství pracují v aktivním prostředí CO<sub>2</sub> a díky nim jsme schopni řezat konstrukční oceli až do tloušťky 30 mm, korozivzdorné oceli do tloušťky 15 mm a u hliníkových slitin do tloušťky 10 mm. Veškeré parametry výroby pomocí LBM jsou sepsány v následujících tabulkách 1 - 3 [19] [20].

**Tabulka 1:** Parametry dosahované technologií LBM ve strojírenství [3]

Polohovací zařízení	CNC
Výkon laseru pro gravírování	1 kW
Výkon laseru pro řezání a dělení	0,1-15 kW
Aktivní prostředí	Pevnolátkové, plynové, plazmatické, kapalinové, polovodičové
Vlnové délky	Infračervené, oblast 1. viditelného pásma, ultrafialové, rentgenové
Systémy pro buzení atomů	Elektronový svazek, tepelné změny, chemicky, rekombinací
Časové režimy provozu laseru	Impulsní, kontinuální
Použití pro	Svařování, řezání a dělení, vrtání, gravírování, tepelné zpracování

**Tabulka 2:** Parametry výrobku [3]

Dosahovaná rozměrová přesnost	+/- 0,01 mm od jmenovitého rozměru
Polohovací přesnost stroje	Závislá na použitém zařízení, běžně 0,01 mm
Dosahovaná drsnost nové hrany	Ra = 1,6 – 6,4
Maximální prořez	Dle materiálu, běžně do 30 mm

**Tabulka 3:** Výhody a nevýhody technologie LBM [3]

Výhody	Nevýhody
Tenký řez	Vzniká tepelně ovlivněná oblast
Malá velikost tepelně ovlivněné oblasti	Při chybném nastavení mohou vznikat otřepy na výstupu paprsku z materiálu
Žádné opotřebení nástroje	Nutnost odsávání vznikajících karcinogenních plynů, zvláště při řezání hliníkových slitin a plastů
Čisté řezy	Malá tloušťka průřezu
Možnost řezání složitých tvarů	Možnost vzniku mikrotrhlin
Hospodárnost i při malých výrobních sériích	Změna struktury vzniklé plochy



## 7. Trubkový laser

Na trhu s lasery se vyskytuje mnoho výrobců, mezi přední z nich patří Trumpf, Adige, IPG aj. Jak už bývá zvykem, každý se snaží vytvořit ideální konstrukci a řešení svých modelů. Tudiž každý výrobce může mít konstrukční řešení svých strojů odlišné. Zpracování strojů se může lišit, ale požadovaná kvalita řezu by měla být velice podobná.

### Trumpf

Firma TRUMPF byla založena v roce 1923 jako mechanická dílna a vyvinula se na celosvětově vedoucí firmu pro obráběcí stroje, lasery i elektroniku pro průmyslové aplikace. V obchodním roce 2018/19 dosáhla společnost s 14 490 zaměstnanci obratu 3 784 milionů eur [5].

### 7.1. TruLaser Tube 7000

TruLaser Tube 7000 je označení trubkového laseru od firmy Trumpf. Jedná se o průtočný CO<sub>2</sub> laser. Tento model stroje představuje mnoho inovací v oblasti laserového zpracování trubek a profilů. Pomocí trubkového laseru můžeme razantně snížit výrobní časy jednotlivých operací, díky sloučení konvenčních metod obrábění, jako je vrtání, řezání, frézování, které můžeme provést při jedné operaci. Samotná řezná rychlost je zde ještě umocněna plně automatizovaným systémem nakládky a vykládky materiálu. Abychom vyloučili možnost kolize, každý NC program sám řídí veškeré seřizovací činnosti a na obsluhu tedy zůstávají jen nezbytně nutné úkony [5] [16].



Obr. 6: Konstrukce trubkového laseru

Zdroj: *Internetová stránka* [5]

## Parametry stroje TruLaser Tube 7000:

Výkon:	3600W
Maximální tloušťka materiálu:	
Ocel:	8 mm
Nerez:	6 mm
Hliník:	5 mm
Minimální délka surového materiálu:	
Ruční nakládání:	180 mm
Automatické nakládání:	2500 mm
Maximální délka surového materiálu:	
Ruční nakládání:	6500 mm
Automatické nakládání:	7000 mm
Maximální délka hotového výrobku:	6000 mm
Minimální délka pro uchycení v čelistech:	122 mm
Maximální obrobitelný průměr materiálu:	250 mm (průměr opsané kružnice)
Maximální hmotnost surového materiálu:	225 kg

Trubkový laser je velice flexibilní, jsme schopni díky němu vytvářet nejrůznější tvary otvorů, zahloubit díry, hrany aj. Příklady hotových výrobků můžeme vidět na obr. 7. Pomocí trubkového laseru můžeme obrábět i velkou škálu profilů. Mezi nejčastější typy profilů patří: trubka, jechl, L-profil, C-profil. Na laseru se mohou obrábět i nestandardní profily jako například: Z-profil, B-profil aj. U těchto profilů je ovšem potřeba zkušených programátorů stroje, aby nedošlo ke kolizi hlavy s obrobkem.

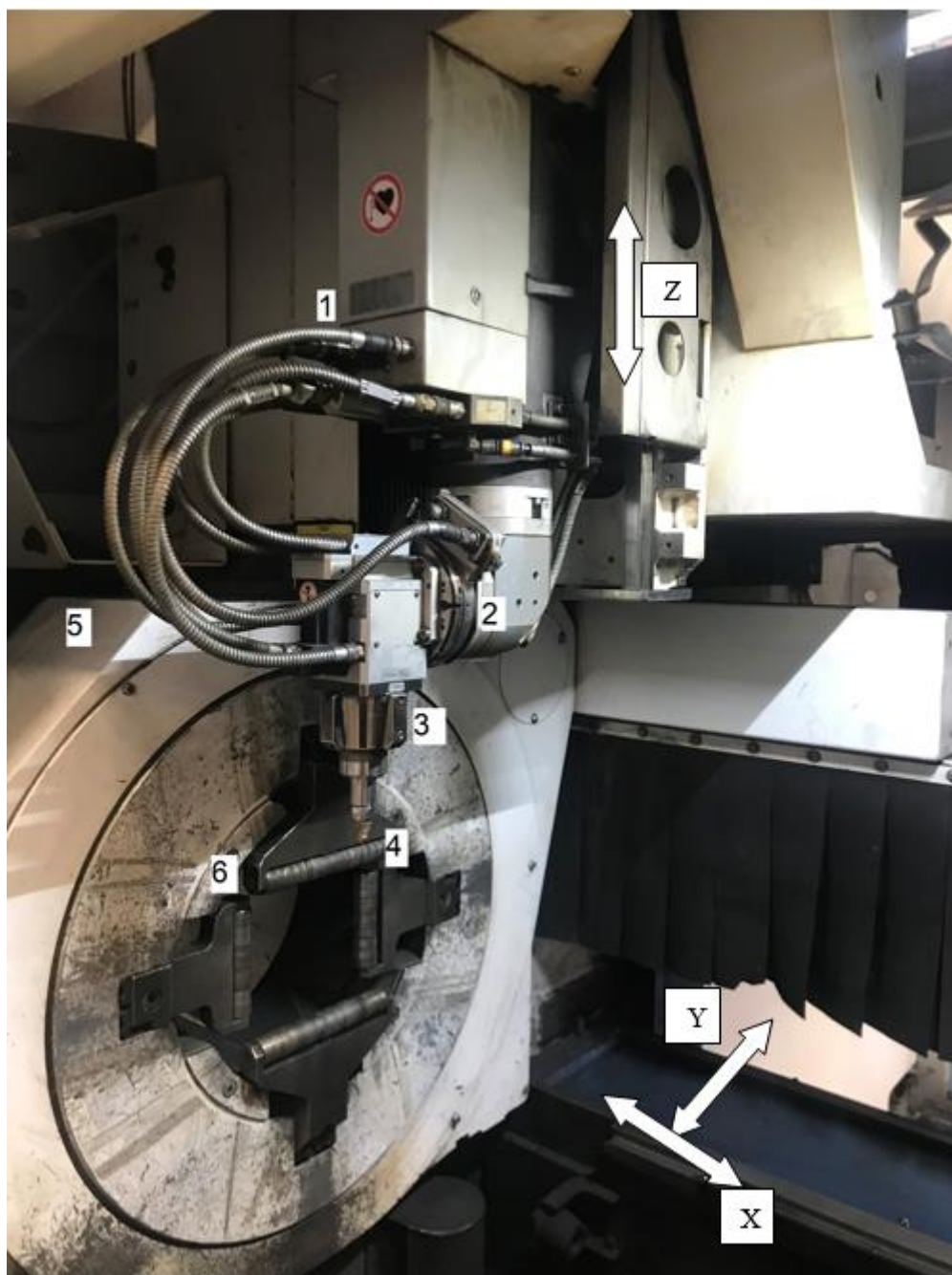


Obr. 7: Výrobky zhotovené na stroji TruLaser Tube 7000

Zdroj: *Vlastní zpracování*

### 7.1.1. Řezná hlava laseru

Štíhlá řezná hlava, kterou je osazen TruLaser Tube 7000 se používá na všechny aplikace. Mezi hlavou a jejím upnutím je magnetická spojka, která chrání hlavu při nárazu. Pokud dojde ke kolizi s materiálem, řezná hlava se pouze vyhne a nedojde k většímu poškození. Řezná hlava je opatřena kapacitvním odměřováním odstupu hlavy od materiálu tzv. ControlLine. Ohnisková vzdálenost zpracování je 155 mm [5] [16].



Obr. 8: Řezná hlava trubkového laseru

- 1) Přívod inertního plynu, 2) Magnetická spojka, 3) Řezací nástavec, 4) Tryska, 5) Protahovací stanice, 6) Upínací čelisti

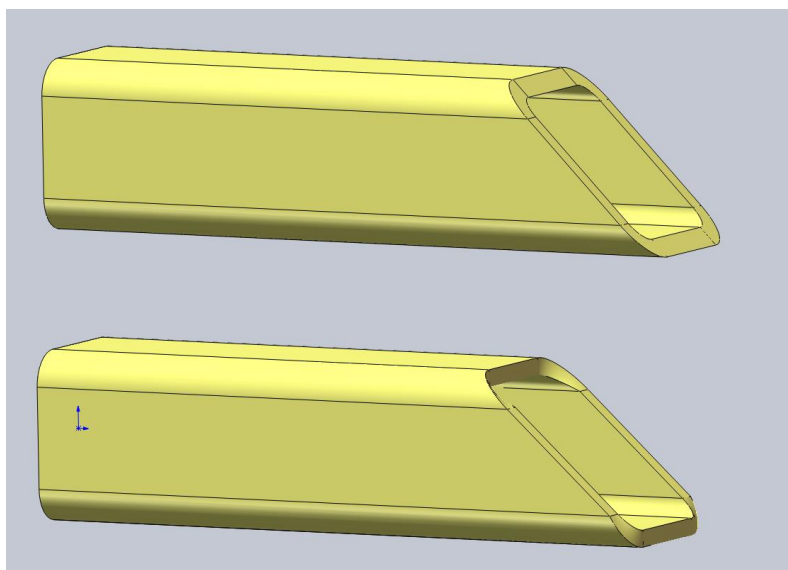
Zdroj: *Vlastní zpracování*

Řezná hlava se pohybuje horizontálně podle osy Y a vertikálně podle osy Z a dále se natáčí  $\pm 45^\circ$  ve směru osy X (obr. 8). Díky tomu jsme schopni vytvořit velice kvalitní šikmý řez pod úhlem maximálně  $45^\circ$ . Pokud je úhel větší než  $45^\circ$  výsledný řez odebere špičku materiálů a pod úhlem budou řezány pouze hrany, jak je vidět na obr. 10. Všechny ostatní pohyby zajistí pomocí posuvné stanice obrobek, který je upnutý ve sklíčidlech a posouvá se skrz protahovací stanici [5] [16].



Obr. 9: Ukázka natočení hlavy  $45^\circ$

Zdroj: *Internetová stránka* [5]

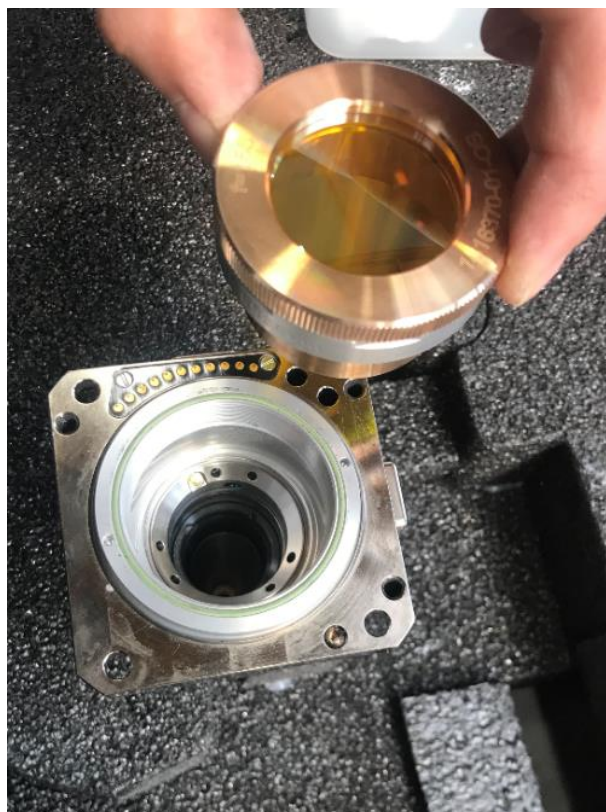


Obr. 10: Řez do velikosti  $45^\circ$  včetně (horní jekl); Řez, který je větší než  $45^\circ$  (dolní jekl)

Zdroj: *Vlastní zpracování pomocí programu TubeDesign od firmy Trumpf*

Na hlavu je připojen řezací nástavec, který je osazen čočkou, která dále usměrňuje laserový paprsek do zvolené trysky určitého průměru. Čočka musí být dokonale čistá. Čistota čočky je jednou z nejdůležitějších věcí, které ovlivňují kvalitu řezu. Proto je nutné čočku pravidelně čistit.



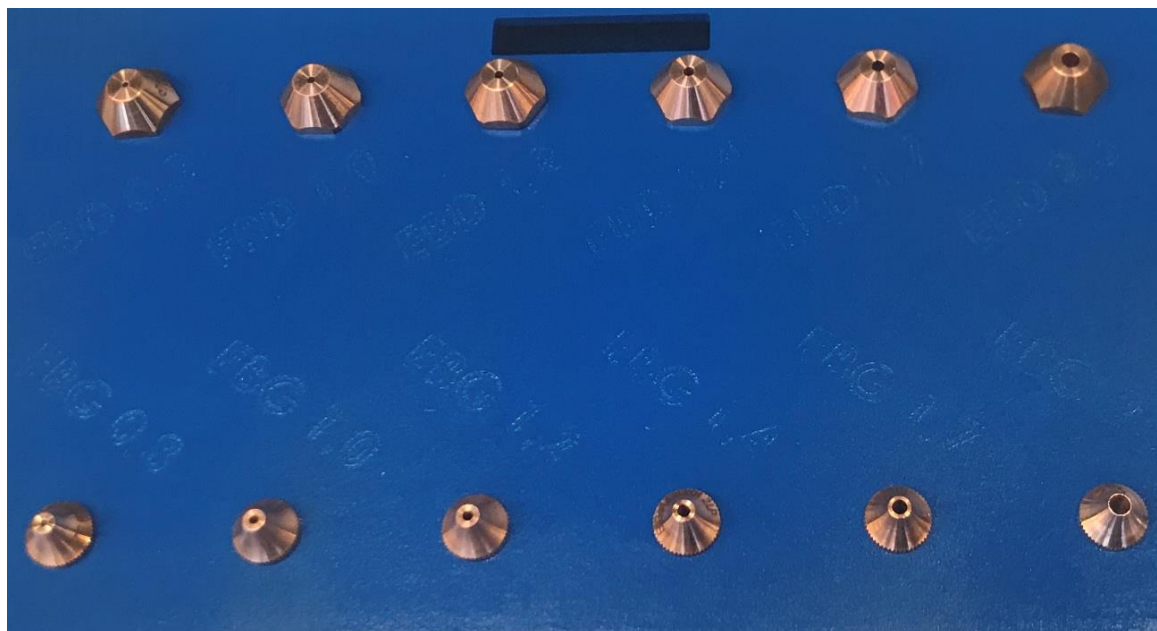


Obr. 11: Pohled na řezací nástavec z vrchu, předtím, než je do ní vložena čočka  
Zdroj: *Vlastní zpracování*



Obr. 12: Detailní pohled na celý řezací nástavec  
Zdroj: *Vlastní zpracování*

Poslední důležitý element, který na řezacím nástavci najdeme je tryska. Trysek na trubkový laser máme hned několik druhů a průměrů. Rozlišují se trysky pro šikmý řez a pro normální řez. Trysky pro šikmý řez jsou tenčí, a to z důvodu, aby se hlava mohla naklonit do požadovaného úhlu a nedošlo při tom ke kolizi. Druh trysky se volí automaticky podle NC programu. V určitých situacích však může obsluha zvolit buď menší, nebo větší průměr trysky, podle potřeby a kvality řezu.



Obr. 13: Trysky pro TruLaser Tube 7000

Zdroj: *Vlastní zpracování*

### 7.1.2. LoadMaster Tube

LoadMaster Tube je zařízení, díky kterému je práce na trubkovém laseru ještě efektivnější. Jedná se totiž o automatické zařízení pro zakládání trubek a profilů do stroje TruLaser Tube 7000. Toto zařízení pojme až 4 t materiálu a díky tomu se při velkých výrobních sériích odstraní neproduktivní časy, při časté manipulaci s materiálem. Založené profily jsou automaticky, pomocí „šoupátek“ tlačeny nahoru k dorazu, zde se změří přesná délka, která se odešle do stroje a ten s touto délkou dále operuje. Díky automatizaci se někdy stává, zejména u menších profilů, že se k dorazu dostanou profily 2, samozřejmě stroj má nastavené parametry profilu a pokud tyto parametry nesedí, nemůže se materiál dostat dál a proces se opakuje, než stroj roztřídí materiál správně. Až poté se k materiálu nakloní drapáky, které materiál chytí a přesunou ho na podpěry k posuvné stanici.

Zásobník pracuje ve dvou polohách: horní a spodní. Spodní část je určena především pro uzavřené profily a horní část se využívá při práci s otevřenými profily, kde je nutné dodržet pořadí stejné uložení profilu, pokud by se profil nedopatřením otočil, může to způsobit kolizi stroje. Horní část se také může použít, při výrobě urgentních zakázek. Díky tomu, že máme zaplněnou spodní část, neměli bychom kde materiál uložit a dlouhým procesem museli vyndat

materiál ze zásobníku, tak jenom zvedneme sklopnou přepravní dráhu nahoru a na ní materiál naskládáme. Celá konstrukce LoadMaster Tube je znázorněna na obr. 14 [5] [16].



Obr. 14: Uložení ve spodní poloze LoadMaster Tube a přenos trubky pomocí drapáků  
Zdroj: *Vlastní zpracování*

### 7.1.3. Posuvná stanice, průchozí sklíčidlo a upnutí profilu

Při obrábění se trubka pohybuje pomocí posuvné stanice ve směru osy x a přitom se otáčí v celkovém rozmezí 360°. Posuvná stanice obsahuje samostředící upínací čelisti (obr. 15), které zajišťují přesné upnutí profilu, díky čemuž jsme schopni obrábět profily s přesností 0,1mm. Upínací pouzdro je složeno ze čtyř čelistových pouzder, přičemž dvě protilehlé upínací čelisti pracují synchronně. Upínací síla se nastavuje automaticky při nakládání trubky, čímž se dosáhne bezpečného upnutí těžkých profilů a zároveň jemného upnutí, při obrábění tenkostěnných profilů.

Profil, který je upnutý v posuvné stanici, je během obrábění veden přes posuvné protahovací pouzdro (Obr. 16) ve směru osy x. Posuvné protahovací pouzdro slouží pro vystředění a pevné upnutí co nejblíže reznému paprsku. Protahovací pouzdro se ve většině případů nepohybuje, veškerý pohyb obstarává posuvná stanice. Ovšem může se pohybovat v ose x, ale pouze v omezené míře a jen tehdy, pokud jsou v profilu nadstandardně komplikované výřezy, nebo konečný řez je šikmý, aby nedošlo ke kolizi hlavy a pouzdra.

Protahovací pouzdro je vybavené upínacími kleštinami s válečky, které mají kónické provedení. Toto provedení nám umožňuje upnutí v rozích u čtvercových a obdélníkových



profilů, tam kde má profil největší přesnost. Upíná se v 8 bodech. Upnutí funguje na podobném principu jako u posuvné stanice [5] [16].



Obr. 15: Detailní pohled na posuvnou stanici a samostředící upínací čelisti  
Zdroj: *Vlastní zpracování*



Obr. 16: Detailní pohled na posuvné protahovací pouzdro  
Zdroj: *Vlastní zpracování*



#### 7.1.4. Flexibilní odebírací stanice

Flexibilní odebírací stanice se skládá ze skluzavky dílů, která je určena pro menší díly do 1 m. Pro delší díly zde jsou podpěry hotových dílů. Ať už vybereme jakékoliv z řešení odebrání obrobku od laseru, vždy obrobek padá na posuvné pásové stoly (obr. 17).

Posuvné pásové stoly jsou potažené materiálem, který je odolný vůči vysoké teplotě, která při pálení laserem vzniká, tak zároveň dost pružný, aby vyrobený díl nebyl mechanicky poškozený. Pomocí pásového stolu se hotový výrobek dopraví k obsluze, která ho poté může odebrat. Světelné závory kontrolují, zda není stůl přeplněn, pokud by došlo k přeplnění stolu a hromadění obrobků, laser automaticky přestane vyrábět další kusy. Díky dobré přístupnosti a ergonomické výšce, lze odebírat i velké a těžké kusy, například za pomoci jeřábu. Všechny díly je možné jednoduše odebírat paralelně při chodu stroje a díky tomu se výrobní časy zkracují na minimum [5] [16].

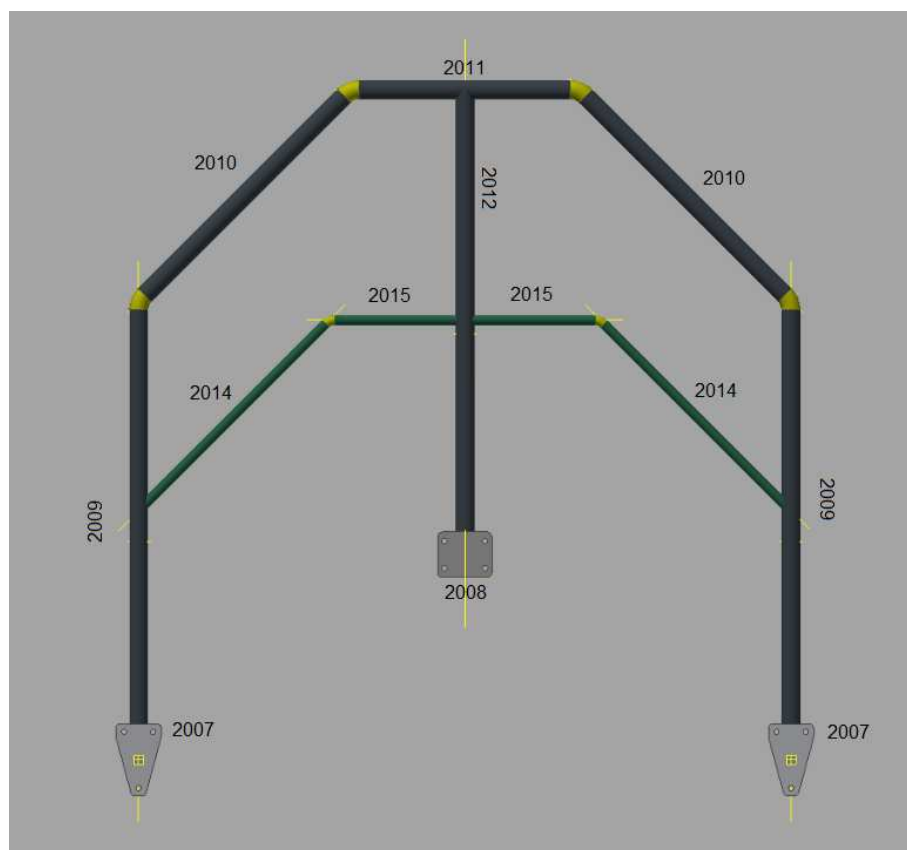


Obr. 17: Posuvné pásové stoly s hromadícími se výrobky

Zdroj: *Vlastní zpracování*

## 8. Výroba trubkového zábradlí

Výroba trubkového zábradlí se bude řídit podle výkresu, viz příloha A. Na výkresu vidíme, že zábradlí se skládá z několika dílů, které jsou následně svařeny k sobě. Každý díl je pro lepší přehled označený číslem pozice. Budeme uvažovat dvě situace, a to výrobu, kde pro dělení trubek použijeme řezání na pásové pile a druhou situaci, kde pro dělení trubek použijeme trubkový laser.



Obr. 18: Model vyráběného zábradlí

Zdroj: *Vlastní zpracování pomocí programu Autodesk Inventor*

### 8.1. Výroba zábradlí, pomocí dělení trubek řezáním

Surový materiál se nechá otryskat a čistý se odešle k dalšímu opracování. Pozice na výkresu 2x 2009, 2x 2010, 2011, 2012, 2x 2014 a 2x 2015 se budou řezat na pásové pile KASTOFLEX F1, jedná se pouze o rovný řez, který je zkrácen o dohodnutou délku, většinou se jedná o 1-2 mm, a to kvůli svařování. Díly 2012, 2x 2014 a 2x 2015 budou poslány na lis Berrenberg EPR125, kde se budou lisovat konce trubek (zplošťovat), kvůli svařování. Pozice 2007 a 2008 se budou vyrábět na 2D laseru. Trubkové oblouky se na podnět přípravně objednávaly přes centrální nákup. Díly se odešlou na svařovnu a zde se musí roztrždit podle pozice. Svářeč nejprve jednotlivé díly naboduje a poté celé zábradlí zavaří. Takto vyrobené zábradlí dále putuje na lakovnu. A hotové je připraveno na expedici k zákazníkovi.

## 8.2. Výroba zábradlí pomocí trubkového laseru

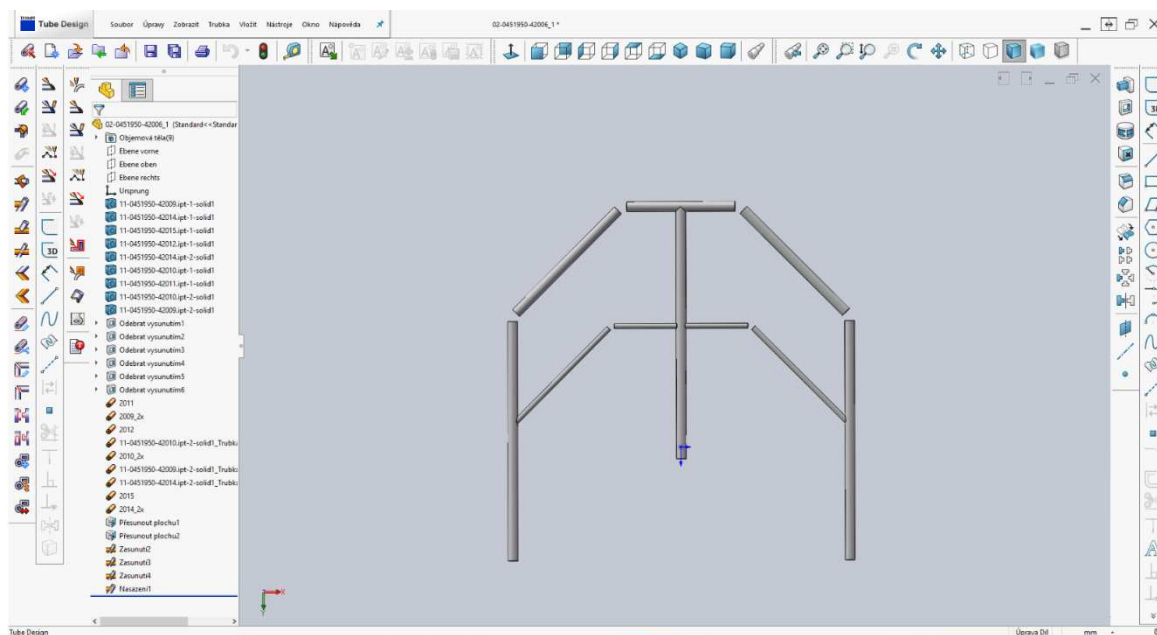
Surový materiál se nechá otryskat a čistý se odešle k dalšímu opracování. Pozice na výkrese 2x 2009, 2x 2010, 2011, 2012, 2x 2014 a 2015 se budou vyrábět pomocí trubkového laseru a budou opatřeny technologickými otvory, díky kterým můžeme trubky vložit do sebe. Dále pro lepší přehled bude každá trubka opatřena gravírem. Pozice 2007 a 2008 se budou vyrábět na 2D laseru. Trubkové oblouky se na podnět přípravně objednávají přes centrální nákup. Díly se odešlou na svařovnu a zde se musí roztrždit podle pozice. Svářeč nejprve jednotlivé díly naboduje a poté celé zábradlí zavaří. Takto vyrobené zábradlí dále putuje na lakovnu. A hotové je připraveno na expedici k zákazníkovi.

### 8.2.1. Detailní pohled výroby, při použití TruTube laseru 7000

Při výrobě trubkového zábradlí se podstatná část výroby musí naprogramovat ve speciálních programech od firmy Trumpf a až poté se hotový program odešle na stroj, kde obsluha stroje obstará veškeré náležitosti, které jsou k výrobě potřebné. Všechny operace jak TruTube 7000 pracuje, jsou detailně popsány v kapitole číslo 6.

### 8.2.2. TubeDesign

V programu TubeDesign jsme schopni vytvořit rychle a zcela přehledně, jelikož pracujeme ve 3D, profilové konstrukce i z více částí. Přitom dosáhneme nejvyšší přesnosti a bezpečnosti výroby. Díky snadné nastavitelnosti parametrů šířky, délky nebo tloušťky stěn profilu vyrobíme jakékoli varianty konstrukcí velmi rychle. Dále se zde programují otvory nejrůznějších tvarů, které nám naklonění hlavy dovolí. Pokud by teoreticky došlo ke kolizi hlavy, program sám vyhodnotí chybu a upozorní na ni [5].



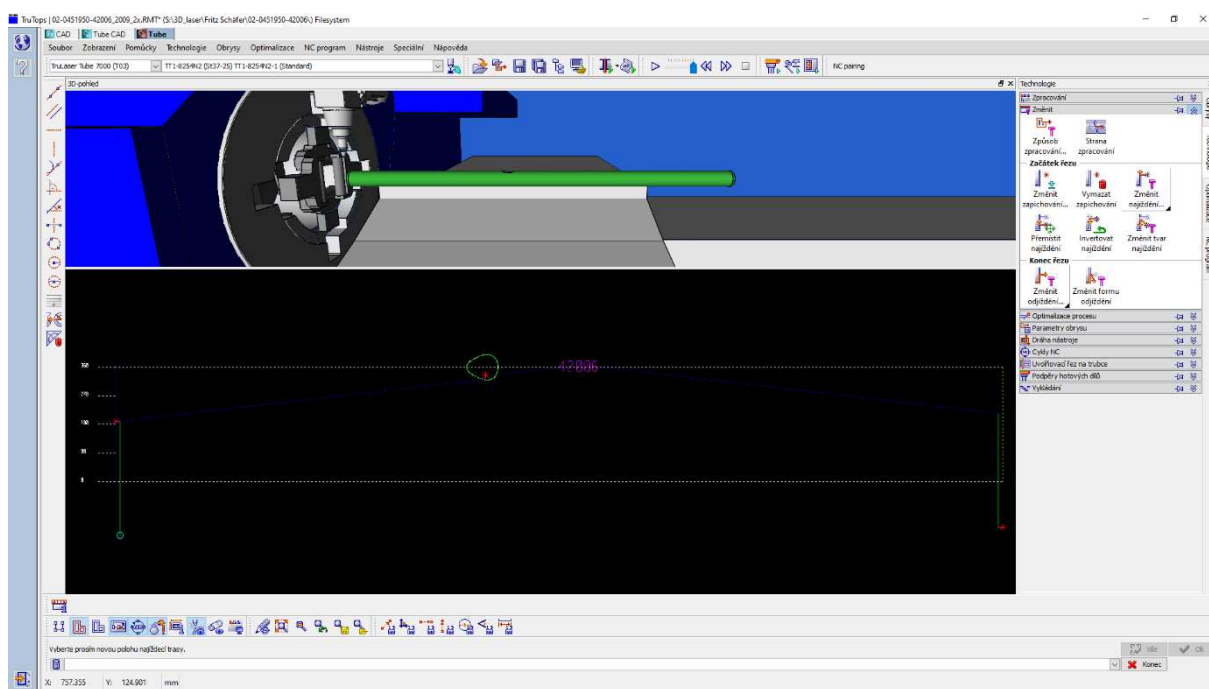
Obr. 19: Model vyráběného zábradlí

Zdroj: *Vlastní zpracování pomocí programu TubeDesign*

Na obr. 19 můžeme vidět naprogramované trubkové zábradlí. Zábradlí je naprogramované podle výkresu viz Příloha A. Programují se všechny pozice, které jsou uvedené na výkrese a oproti modelu (obr. 18) jsme schopni naprogramovat jen profily, které můžeme reálně na stroji vytvořit. Program TubeDesign je schopen komunikovat a převzít CAD data ve všech běžných formátech souboru. Máme tedy dvě možnosti, vymodelovat celé zábradlí sami, nebo ho naimportovat z již hotového modelu. Pokud přistoupíme k importu modelu, musíme s modelem ještě dále pracovat a upravit ho tak, aby bylo možné vytvořená data odeslat stroji [5].

### 8.2.3. TruTops Tube

Pokud jsme vytvořili model v TubeDesignu, můžeme přejít do programu TruTops a zde nastavit všechny parametry pro stroj TruLaser Tube 7000. TruTops Tube je speciální program vytvořený firmou Trumpf, který se zabývá programováním trubek a profilů pro stroj TruLaser Tube 7000, software obsahuje celé technické know-how firmy Trumpf. NC programy jsou vytvořeny velmi efektivně, díky mnoha automatizmům. V programu je již uloženo mnoho standardních operací, jako jsou například přejezdy laserové hlavy, přířezy a odřezy, díky čemuž je práce programátora ulehčena a může se zaměřit na optimalizaci výroby. S programovacím systémem firma Trumpf také aktualizuje laserové tabulky a pracovní předpisy. Tím je zajištěno, že laser pracuje vždy ve velmi dobré kvalitě s maximálně efektivním a bezpečným pořadím zpracování. Díky tomuto programu můžeme nasimulovat veškerý chod stroje a tím předejdeme veškerým možným kolizím [5].



Obr. 20: Pracovní prostředí v programu TruTops od firmy Trumpf

Programování trubky pozice 2009

Zdroj: Vlastní zpracování

#### **8.2.4. TubeNest**

Pokud je programování trubkového zábradlí u konce, zvolili jsme správné osazení trubek, každá trubka je opatřena gravírem pozice, je vybraná správná tryska a řezný plyn a všechny ostatní náležitosti, můžeme přejít do programu TubeNest. Tento program vytvořila společnost Trumpf k rychlému a jednoduchému uspořádání dílů do výchozího materiálu. Jelikož budeme zvolené zábradlí vyrábět z polotovaru, který má 6 m, bylo by velice neekonomické tento materiál plně nevyužít, a díky tomuto programu můžeme využít celou trubku, jak nejlépe lze. Díky tabulkovému a grafickému přehledu, máme vždy informace o výsledném uspořádání. Program automaticky vytvoří pro trubkový laser určitou předlohu, díky které máme přehled o rozmístění dílu v trubce, použité trysky, druh řezného plynu a všechny důležité parametry, které potřebuje obsluha stroje znát, aby nebyl žádný problém při výrobě [5].

Program s takto připraveným zábradlím se odešle do stroje a výroba jednotlivých kusů může začít.

#### **8.2.5. Výroba**

Každý díl (pozice) je vyroben zcela přesně a jedinečně, tudíž nemůže být zaměněn za jinou pozici na výkrese, a jelikož je opatřen gravírem, je jednoduché ho dále dohledat. Zminimalizujeme tím možnost ztráty nebo založení při převozu dílů od trubkového laseru na svařovnu.

Na obr. 21 vidíme výrobu trubky na pozici 2009. Je zde technologický otvor, do kterého se vloží trubka z pozice 2014 a gravírovaná byla 4 poslední čísla z výkresu, stejně je označena každá pozice na výkrese, mohli bychom gravírovat i každý kus zvlášť svým číslem pozice, ale jelikož jsou lehce odlišitelné tvarově pouhým okem, rozhodli jsme se gravírovat všechny stejně, z důvodu lepší orientace v dílech při převozu. Jinými slovy, stejná čísla jdou pořád spolu např. v jedné paletě a jedná se o jedno zábradlí.

#### **8.2.6. Svařování**

Všechny vyrobené díly na trubkovém laseru jsou odeslané na svařovnu a zde se celé zábradlí svaří dohromady. Jelikož jsou trubky opatřené technologickými otvory pro zasunutí a pozice 2012 je vyrobena s výřezem, svářeč nemusí nic zdlouhavě naměřovat a celé zábradlí jen jednoduše složí podle výkresu, jak můžeme vidět na obr. 22. Díky tomuto postupu se minimalizuje možnost chyby, při záměně, nebo špatném naměření polohy dílu, při svařování. Nejprve si svářeč umístí jednotlivé kusy do přípravku, naboduje je s trubkovými oblouky a plotnami, které byly vyrobeny na 2D laseru. Takto nabodované trubky se obvaří dokola, sváry se vybrousí a zábradlí je připraveno na odeslání na lakovnu, kde bude nalakováno požadovanou barvou a může se odeslat k zákazníkovi.





Obr. 21: Detailní pohled na trubku zábradlí pozice 2009

Zdroj: *Vlastní zpracování*



Obr. 22: Zábradlí umístěné v přípravku a nabodované

Zdroj: *Vlastní zpracování*

## 9. Porovnání obou technologií

V předchozí kapitole jsme popsali výrobu zábradlí pomocí dvou rozdílných technologií. První technologie byla založena na technologii dělení trubek řezáním a při druhé technologii jsme pro dělení trubek použili trubkový laser TruTube Laser 7000 od firmy Trumpf. Oběma způsoby je samozřejmě možné zábradlí vyrobit a nyní si probereme výhody a nevýhody obou metod.

Při samotném dělení trubek až takový rozdíl nebyl, na pásové pile jsme byli schopni všechny trubky nadělit zhruba za 13 minut. Ovšem jednalo se pouze o rovné řezy. Naproti tomu na trubkovém laseru jsme trubky nadělili na požadovanou délku, opatřili je technologickými otvory, nebo výřezy a byl na ně vypálený gravír s číslem výkresu pro lepší přehled při další manipulaci s jednotlivými díly. Všechny tyto úkony byly na trubkovém laseru hotové ještě dříve než pouhé rovné řezy na pásové pile, a to za 10 minut.

Po nařezání trubek je bylo nutné poslat k dalšímu kroku výroby. Při první metodě dělení musely být trubky poslány na lis, kde se lisovaly konce trubek. Konce trubek bylo nutné zploštit, aby na sebe dobře doléhaly při svařování. Jelikož trubky z laseru byly opatřeny technologickými otvory a výřezy, není nutný žádný další krok ve výrobě a trubky z laseru se můžou ihned po výrobě poslat na svařovnu.

Po zploštění bylo možno na svařovnu odeslat i trubky, které se dělily na pásové pile. Zde můžeme vidět největší rozdíl v použitých technologiích. Trubky při řezání nejsou opatřeny žádnými body, kterých by se mohl svářeč chytit a složení takto nařezaných trubek je daleko časově náročnější než složení dílů, které byly vytvořeny na trubkovém laseru. Trubky z laseru jsou opatřeny technologickými otvory a svářeč jen tyto trubky vloží do sebe a vše sedí. Nemusí nic zdlouhavě a pracně měřit a také se vyvaruje rizika chyby, že by nějakou trubku například přehodil, nebo ji zavařil v jiné výšce, kde měla podle výkresu být. To vše se promítlo samozřejmě v čase. Při dělení trubek řezáním trvalo svařování 3,77 hod. Čas pro svařování u trubek od laseru byl 2,94 hod.

Porovnávání těchto technologií nám ukázalo velké množství rozdílů, které jsou přehledně vypsány v tabulce číslo 4. Dále se budeme zabývat porovnáním obou technologií z ekonomického a časového hlediska.

**Tabulka 4: Porovnání metod výroby [Vlastní zpracování]**

Metoda 1		Metoda 2	
Výhody	Nevýhody	Výhody	Nevýhody
Nízké náklady na použité stroje	Materiál lze řezat pouze na určitou délku	Rychlost výroby	Vysoká pořizovací cena laseru
Nic se nemusí programovat	Nemožnost označení materiálu gravírem	Materiál je označený geravírem	
Rychlé a jednoduché dělení materiálu	Konce trubek se musí lisovat	Počet technologických kroků snížený na minimum	
	Více převozu mezi jednotlivými středisky	Menší počet převozů materiálu mezi středisky	
	Svářeč musí pozici každého dílu pečlivě naměřit podle výkresu	Zábradlí lze jednoduše složit do sebe a svářeč nemusí nic zdlouhavě měřit	

### 9.1. Cenové a časové zhodnocení výroby

**Tabulka 5: Cenové a časové zhodnocení výroby [Vlastní zpracování]**

	1. Metoda výroby		2. Metoda výroby	
Druh nákladů	Čas [h]	Cena [€]	Čas [h]	Cena [€]
Tryskání	0,03	1,8	0,03	1,8
Řezání na pásové pile KASTOFLEX F1	0,21	6,93		
Lis Berrenberg EPR125	0,09	2,97		
2D laser od firmy Trumpf	0,03	2,34	0,03	2,34
TruTube laser 7000			0,17	15,3
Svařování	3,77	124,41	2,94	97
Lakování	0,02	7,8	0,02	7,8
$\Sigma =$	4,15	146,25	3,19	124,24

Tabulka se řídila podle cenového zhodnocení určené ve firmě SSI Schaefer, které zní následovně:



- Tryskání = 60 € /hod
- Řezání na pile Kastoflex F1 = 33 €/hod
- Lis Berrenber EPR125 = 33 €/hod
- Ruční svařování = 33 €/ hod
- 2D laser = 78 €/hod
- Trubkový laser = 90 €/hod
- Prášková lakovna = 390 €/hod

Z tabulky číslo 5 vyplývá, že součet všech časů, které byly pro výrobu zábradlí podle první metody potřeba je 4,15 hodin a výroba jednoho kusu zábradlí vyšla na 146,25 €. Výrobní čas pro druhou metodu výroby byl 3,19 hodin a celková částka vyšla 124,24 €.

I když je práce na pásové pile levnější než práce na laseru. Celkové náklady na výrobu trubkového zábradlí pomocí první metody jsou vyšší. Tato skutečnost je zapříčiněná tím, že při první metodě je technologický postup rozepsán na 7 úkonů, zatímco při druhé metodě se počet úkonů sníží na 6. Další největší rozdíl je v čase svařování, což ve výsledku způsobí, že metoda výroby zábradlí pomocí trubkového laseru je o 22 € levnější.

## **9.2. Zhodnocení obou metod**

Samozřejmě obě metody mají své pro a proti. Výroba pomocí laseru vyšla výhodněji, ať už se jedná o čas, který pro výrobu potřebujeme, tak peníze, za které jsme dané zábradlí schopni vyrobit. Čas výroby pomocí laseru, jsme oproti první metodě zkrátili o 0,96 hodin a celkové náklady na výrobu klesly o 22 €.

Velká nevýhoda výroby zábradlí pomocí laseru je jeho pořizovací cena, a ne všechny podniky si můžou dovolit vlastnit tak drahý stroj, proto je tato metoda určena spíše pro větší firmy. Pokud tedy firma nemá kapitál na nákup drahého trubkového laseru, pořád se jí vyplatí dělit trubky pomocí pily, sice budou náklady na výrobu o něco vyšší, ale výsledný výrobek je stejný. Trubkový laser ovšem opravdu výrobu urychlí a značně ji zjednoduší.

## Závěr

Cílem bakalářské práce byla racionalizace výroby zábradlí pomocí trubkového laseru. Na začátku jsem popsal výrobu, která probíhala dělením trubek na pásové pile. Tato metoda je pro výrobu dostačující, ovšem výroba zábradlí, pokud dělíme trubky na trubkovém laseru je efektivnější a rychlejší.

Za pomoci pásové pily můžeme nařezat pouze rovné trubky, které nejsou nijak označené, a proto je v tomto případě možná ztráta při převozu, nebo záměna s jiným materiálem. Tuto skutečnost jsme na trubkovém laseru odstranili tím, že jsme každou trubku opatřili gravírem a každá trubka byla označená stejně, tedy posledními čtyřmi číslicemi z výkresu. Díky tomu jsou trubky lehce dohledatelné a nemůžou být zaměněny za jiné. Při první metodě se nařezané trubky musely poslat na lis Berrenberg EPR125 kde se musely zploštit konce těchto trubek. Díky trubkovému laseru, kde jsme v trubkách vytvořili technologické otvory pro snadné zasunutí jednotlivých trubek do sebe, nám tento technologický krok odpadl, a tudíž se výrobní proces razantně zrychlil. Ušetřili jsme další technologický krok při výrobě, a zatímco se trubky vyráběné metodou 1 dostaly k lisu, trubky vyráběné metodou 2 se již mohly svařovat na svařovně. Na svařovně byl rozdíl obou metod znát asi nejvíce. Trubky připravené metodou 1 se musely náročně přeměřovat a svářeč musel pracně určovat jejich polohu. Díky těmto krokům navíc se čas při svařování vyšplhal na 3,77 hod. Přesnost svařování záležela na schopnostech svářeče, který samozřejmě při měření může udělat chybu. Díky druhé metodě se čas na svařovně zkrátil hned o 0,96 hod a svářeč stihl zavařit zábradlí za 2,94 hod. Při druhé metodě nemusel přeměřovat každou trubku a určovat její polohu, jednoduše zábradlí složil za pomoci předpálených technologických otvorů. Všechny trubky měly dané svoje místo a odpadla zde možnost chyby, kterou může svářeč při svařování udělat.

Časově tedy vyšla výroba trubkového zábradlí lépe za pomoci metody číslo 2. Z ekonomického hlediska byl výsledek stejný. Při první metodě byly náklady spočítané na 146,25 € a druhá metoda vyšla na 124,24 €. Výsledný rozdíl v ceně je tedy 22 €. Tato suma není až tak závratná ovšem kdybychom měli větší výrobní série, propad první metody by byl razantně větší. Jelikož trubkový laser je určený právě pro sériovou výrobu, kde se jeho rychlost a skloubení několika technologických kroků dohromady projeví naplno.

Výsledkem tedy je, že metoda 2 byla lepší v obou ohledech. Díky trubkovému laseru jsme zkrátili technologický postup o jednu položku, ze 6 pracovních kroků na 5. Čas celkové výroby jsme zkrátili o 0,97 hod. a výrobní cenu jednoho kusu zábradlí jsme snížili o 22 €.

Ovšem velkou nevýhodou trubkového laseru je jeho vysoká pořizovací cena, a ne všechny menší firmy si mohou dovolit koupit tohoto stroje stejně jako firma SSI Schäfer. Na základě této bakalářské práce a mého názoru jsem ale o jeho využití a zlepšení efektivity výroby plně přesvědčen. Ve všech ohledech byla výroba zábradlí za jeho pomoci lepší než výroba první metodou. Výroba se celkově zrychlila, a dokonce se snížila možnost chyby na minimum.

## **Poděkování**

Závěrem bych rád poděkoval prof. Ing. Robertu Čepovi, Ph.D. za pomoc při vytváření této bakalářské práce, především za jeho profesionální a pohodový přístup.

Dále bych chtěl poděkovat firmě SSI Schäfer za možnost vytvářet tuto bakalářskou práci pomocí jejich technologií. A panu Martinu Schindlerovi, vedoucímu programátorů trubkového laseru ve firmě SSI Schäfer, za jeho odborné a cenné rady.

## Bibliografie

- [1] *SSI SCHÄFER* [online]. Hranice: SSI Schäfer, 2020 [cit. 2020-05-01]. Dostupné z: <https://www.ssi-schaefer.com/cs-cz>
- [2] *Elektro: časopis pro elektrotechniku* [online]. [Praha]: FCC Public s.r.o., 2020, 2005(4) [cit. 2020-04-08]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/elektro/casopis/tema/laser-od-objevu-k-prumyslovym-aplikacim--13653>
- [3] PÍŠKA, Miroslav. *Speciální technologie obrábění*. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2009. ISBN 978-80-214-4025-8.
- [4] NAVRÁTIL, Leoš. *Nové pohledy na neinvazivní laser*. 1. vydání. Praha: Grada Publishing, 2015. ISBN 978-80-247-1651-0.
- [5] *TRUMPF GmbH + Co. KG* [online]. Praha: TRUMPF, 2020 [cit. 2020-04-04]. Dostupné z: [https://www.trumpf.com/cs\\_CZ/](https://www.trumpf.com/cs_CZ/)
- [6] ŘASA, Jaroslav a Zuzana KEREČANINOVÁ. Nekonvenční metody obrábění – 4. díl. *MM spektrum: Nejčtenější strojírenský časopis* [online]. Praha: MM spektrum, 2020 [cit. 2020-04-06]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/nekonvencni-metody-obrabeni-4-dil.html>
- [7] *LASCAM systems* [online]. Praha: LASCAM systems s.r.o., 2019 [cit. 2020-04-06]. Dostupné z: <https://www.lascam.cz/rozdeleni-laseru/>
- [8] NAVRÁTIL, Leoš a Jozef ROSINA. *Medicínská biofyzika*. 2., zcela přepracované a doplněné vydání. Praha: Grada Publishing, 2019. ISBN 978-80-271-0209-9.
- [9] Možné dělení typů a druhů laserů. *Leonardo technology s.r.o.* [online]. Leonardo technology s.r.o., 2020 [cit. 2020-04-06]. Dostupné z: <http://www.lt.cz/e-learning/laser/mozne-deleni-typu-a-druhu-laseru>
- [10] DUŠEK, Jiří. Hlavní typy laserů používaných v průmyslu. *Megablog: Bud'te v obraze. Mluvte s námi*. [online]. Praha: Megaflex, 2020 [cit. 2020-04-04]. Dostupné z: <https://www.mega-blog.cz/lasery/hlavni-typy-laseru-pouzivanych-v-prumyslu/>
- [11] HITZ, C. Breck, J. J. EWING a Jeff HECHT. *Introduction to laser technology*. 4th ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2012. ISBN 978-0-470-91620-9.
- [12] *Laser journal* [online]. Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2005, 2005(2) [cit. 2020-04-01]. Dostupné z: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/latj.200790041>

- [13] KOCMAN, Karel. *Technologické procesy obrábění*. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011. ISBN 978-80-7204-722-2.
- [14] KOŘÁN, Pavel. SERIÁL NA TÉMA LASERY: LASEROVÉ ŘEZÁNÍ. *LAO - lasery a optika* [online]. Praha: LAO - průmyslové systémy s.r.o., 2014 [cit. 2020-04-02]. Dostupné z: <http://www.lao.cz/lao-info49/serial-na-tema-lasery---laserove-rezani-laser-cutting-129>
- [15] MRŇA, Libor. *Technologie využívající laser*. Brno, 2013. Dostupné také z: [http://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/img/opory/hsv\\_specialni\\_metody\\_svarovani\\_rezani\\_las-erem\\_2013\\_mrna.pdf](http://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/img/opory/hsv_specialni_metody_svarovani_rezani_las-erem_2013_mrna.pdf)
- [16] *Technický týdeník* [online]. Praha: Business Media CZ, 2013, (23) [cit. 2020-04-02]. Dostupné z: [https://www.technickytydenik.cz/rubriky/archiv/trulaser-tube-7000-inovativni-technicka-reseni\\_21413.html](https://www.technickytydenik.cz/rubriky/archiv/trulaser-tube-7000-inovativni-technicka-reseni_21413.html)
- [17] *Technik management*. Praha: Business Media CZ, 2014. Dostupné také z: [http://old.messergroup.com/cz/Tisk/Archiv-2014/Laserove\\_rezani\\_volba\\_a\\_vlastnosti\\_asistencnich\\_plynu.pdf](http://old.messergroup.com/cz/Tisk/Archiv-2014/Laserove_rezani_volba_a_vlastnosti_asistencnich_plynu.pdf)
- [18] ŠTULPA, Miloslav. *CNC: programování obráběcích strojů*. 1. vyd. Praha: Grada, 2015. ISBN 978-80-247-5269-3.
- [19] MAŇKOVÁ, Ildikó. *Progresívne technologie*. 1. Košice: Viena, 2000. ISBN 80-7099-430.3.
- [20] LIANG, Steven Y. a Albert J. SHIH. *Analysis of machining and machine tools*. New York: Springer, 2016. ISBN 978-1-4899-7643-7.

## **Seznam příloh**

Příloha A: Výrobní výkres trubkového zábradlí